文章编号: 1004-6011(2019)03-0083-07

基于轴辐理论的京津冀区域物流网络布局研究

王红春， 李梦瑶
(北京建筑大学 经济与管理工程学院，北京 100044)

摘 要: 京津冀地区一体化对京津冀及其周边地区的发展有着重要的意义，尤其是针对供应链与物流行业，京津冀一体化对提高京津冀地区物流竞争力有显著作用. 从物流发展的角度，研究了京津冀区域物流网络的新布局，结合京津冀地区近年来的发展规划，收集了京津冀地区2017年城市发展水平、物流基础设施、物流市场规模和物流行业发展水平等4个方面的数据，应用主成分分析法，确定了以北京天津双城为轴心，石家庄、保定、唐山为辐点的轴辐式物流网络布局; 应用引力模型分析了京津冀地区各城市之间的物流引力，确定了石家庄、保定和唐山3大物流圈，旨在为京津冀地区的物流网络发展提供新的思路.

关键词: 京津冀; 轴辐网络; 主成分分析法; 引力模型
中图分类号: F252 **文献标志码:** A
DOI: 10.19740/j.1004-6011.2019.03.12 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**

Logistics Network Layout of Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Hub and Spoke Theory

WANG Hongchun， LI Mengyao
(School of Economics and Management Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044)

Abstract: The integration of Beijing, Tianjin and Hebei is of great significance to the development of Beijing, Tianjin and Hebei and its surrounding areas, especially for the supply chain and logistics industry. The integration of Beijing, Tianjin and Hebei has a significant role in improving the logistics competitiveness of Beijing-Tianjin-Hebei region. From the point of view of logistics development, the new layout of the regional logistics network in Beijing, Tianjin and Hebei Province is studied in the paper. Combined with the development plan of Beijing-Tianjin-Hebei region in recent years, it collects the data of four aspects of the level of city development, logistics infrastructure, logistics market scale and the development level of logistics industry in Beijing-Tianjin-Hebei region in 2017. By means of principal component analysis, the layout of hub and spoke logistics network with Beijing and Tianjin-Shuangcheng as the axis and Shijiazhuang, Baoding and Tangshan as the pivot points is determined. The gravitational model is used to analyze the logistics attraction between cities in Beijing-Tianjin-Hebei region, and the logistics circle of Shijiazhuang, Baoding and Tang Shang is determined. The purpose is to provide new

收稿日期: 2019-02-18
基金项目: 国家自然科学基金项目(61772062)
第一作者简介: 王红春(1976—)，女，教授，博士，研究方向: 供应链与物流管理.

ideas for the development of logistics network in Beijing-Tianjin-Hebei region.

Keywords: Beijing-Tianjin-Hebei region; hub and spoke network; principal component analysis; gravitational model

京津冀地区同属京畿重地,战略地位十分重要,是我国经济最具活力、开放程度最高、创新能力最强、吸纳人口最多的地区之一,也是拉动我国经济发展的重要引擎. 京津冀协同发展的远期目标是京津冀区域经济结构更加合理,公共服务水平趋于平衡. 而京津冀区域的供应链和物流的发展需要依托京津冀协同发展,借助京津冀协同发展的政策和京津冀重要的地理位置,大力发展物流业,同时这对京津冀的经济发展更有重要意义.

如何降低物流运输成本、提高物流运作效率、构建布局更加合理的全新物流网络,是京津冀地区发展好区域物流的关键. 轴辐式物流网络逐渐在现代物流的发展中显示出其优势. O'KELLY(奥凯利)[1]最早提出轴辐式网络的概念. 轴辐式网络是网络中的大部分节点通过和网络中的一个或少量几个枢纽节点相互作用,实现货物、人员及服务的传递的一种网络结构[2]. 采用轴辐式网络结构,可以降低物流运输成本,提高仓库利用率,降低库存积压,合适的网络结构,同样可以实现成本节省[3].

目前对于区域物流的研究,多数基于现有物流网络,对现有网络提出优化建议,O'KELLY(奥凯利)最早构建了轴辐式网络枢纽选址相关模型,并且以美国城市群为实例检验了模型的有效性. 根据不同的模型假设,CAMPBELL(坎贝尔)等[4]研究人员建立了各种枢纽选址、节点分配模型,模型的目标函数都是最小化网络服务总成本. GABRIELA M, BERND W(梅尔和瓦涅)[5]分别用线性规划和混合整数规划建立了枢纽容量无限制和容量限制的轴辐式网络设计模型. 金凤君等[6]根据我国客流网络的特点,构建了航空的轴辐式网络. 谢守红等[7]结合长三角交通发展规划,借助 0-1 模型将长三角区域划分为 5 大物流圈,构建了长三角区域轴-辐式物流网络. 李明芳等[8]构建京津冀地区"四轴九辐"的物流网络结构,并根据所研究的内容提出对策建议. 总体来看,国外学者在轴辐式物流的研究上多以模型算法或航空的轴辐式物流网络为主,较少以区域性轴辐式物流网络为研究对象,国内学者对于轴辐式物流网络的构建主要是在枢纽节点的选择上[9-12],并提出相关建议,虽然多数结合数据分析,但其实际应用性较差.

本文将采用数据与政策结合的方法研究京津冀地区轴辐网络的新布局. 在以前研究的基础上,以 2017 年数据从 4 个方面研究京津冀 13 个主要城市的物流竞争力,综合比较各个城市的物流辐射能力、城市发展水平以及物流行业的发展水平等,提出更加合理的京津冀物流的网络新布局,为京津冀物流行业的发展提供建议.

1 京津冀地区轴辐式物流网络构建

京津冀地区轴辐式物流网络的构建,主要是确定新的物流节点布局,以及区域性的物流圈的划分. 将采用主成分分析法对京津冀地区 13 个主要的物流节点城市进行分类,将这 13 个城市分成不同的等级,分别确定轴心、辐点城市. 物流引力模型将京津冀地区 13 个城市之间的物流联系强度呈现出来,并且根据前面的城市等级划分,确定不同的物流圈. 在考虑评价指标的代表性、科学性、可获取性等基础上,建立较为科学完善的评价指标体系,具体见表 1,通过定性和定量相结合的方法综合评价京津冀地区各节点城市的物流竞争力(原始数据源于国家统计局、各省市交通运输局《中国城市统计年鉴》《河北经济统计年鉴》《邮政行业发展统计公报》).

1.1 物流节点城市的判定

区域经济发展水平越高,提供商品和服务的水平越高,综合发展状况反映区域的物流生成能力[11]. 为了能够更加全面的衡量轴辐式物流网络的轴心城市,本文将通过构建京津冀地区物流网络评价指标体系,将这 13 个城市划分成不同等级的物流节点,构建完整的轴辐式物流网络体系.

主成分分析就是考虑各指标之间的相互关系,利用降维的方法将多个指标转换为少数几个互不相关的指标,从而使进一步研究变得简单的一种统计方法. 主成分分析的目的是用较少的变量去解释原始数据中的大部分变异[12].

在区域物流发展评价指标体系构建完成后,采用主成分分析法对物流节点城市分级. 用 SPSS 软件对原始数据进行主成分分析,要求所提取的主成

表 1　京津冀区域物流发展评价指标体系

Tab. 1　Beijing-Tianjin-Hebei regional logistics development evaluation system

一级指标	二级指标	三级指标
城市发展水平	经济发展水平	GDP(x_1)
	社会再生产	固定投资总额(x_2)
	城市化水平	城镇人口比重(x_3)
物流基础设施	公路运输水平	公路总里程(x_4)
		货运量(x_5)
物流市场规模	零售市场规模	社会消费零售总额(x_6)
	市场规模	规模以上工业利润总额(x_7)
物流行业发展水平	邮政业务发展情况	邮政业务总量(x_8)
		快递量(x_{10})
	通信能力和服务水平	营业网点(x_{11})
		全行业汽车拥有量(x_{12})
		营业网点服务面积(x_{13})
		年人均邮政消费(x_{14})

分是互不相关的指标,且提取主成分的累计贡献率达到 80% ~85% 以上. 主成分分析的模型为:

$$F = BX \tag{1}$$

即主成分 F 为原始变量 X 的线性组合. 其中 F 为提取的主成分,X 为原始的变量.

根据表 1 的京津冀区域物流发展评价指标体系,采用 SPSS 23 软件对原数据进行处理,根据累计方差大于 90% 的标准,从输出的结果中提取 3 个主因子,其方差贡献率之和为 95.042%,这证明提取的 3 个主因子保留了原数据的主要信息,分析结果主要包括特征值和方差贡献表(表 2) 和因子载荷矩阵(表 3) . 再根据公式(1) 分别计算各个城市的得分,主成分的计算公式表达式为 $F = Zxt$(Zx 为旋转后的因子载荷) ,通过表 2 中的各主成分分析的方差百分比(第 1 主成分占 74.444%,第 2 主成分占 15.027%,第 3 主成分占 0.78%) ,计算出综合得分 Y,详见表 4. 再将根据综合得分,将物流节点城市分为 4 个等级,具体见表 5.

表 2　特征值和方差贡献表

Tab. 2　Eigenvalue and variance contribution

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积/%
1	10.422	74.444	74.444	10.422	74.444	74.444
2	2.104	15.027	89.471	2.104	15.027	89.471
3	0.78	5.571	95.042	0.78	5.571	95.042
4	0.421	3.008	98.05			
5	0.18	1.285	99.336			
6	0.051	0.368	99.703			
7	0.022	0.156	99.86			
8	0.01	0.069	99.929			
9	0.008	0.059	99.988			
10	0.002	0.011	99.999			
11	7.60E -05	0.001	100			
12	5.55E -05	0	100			
13	-5.01E -17	-3.58E -16	100			
14	-4.00E -16	-2.86E -15	100			

提取方法: 主成分分析法.

表 3 旋转前的因子载荷矩阵 a

Tab. 3 Factor load matrix before rotation a

	成分		
	1	2	3
x1	0.988	-0.006	0.119
x2	0.847	-0.384	0.317
x3	0.931	-0.13	0.194
x4	0.113	0.865	0.313
x5	0.433	-0.822	0.231
x6	0.994	0.052	0.014
x7	0.931	-0.209	0.244
x8	0.952	0.239	-0.143
x9	0.944	0.26	-0.153
x10	0.976	0.186	-0.045
x11	0.991	0.123	0.001
x12	-0.536	0.481	0.54
x13	0.927	0.171	-0.268
x14	0.964	0.182	-0.087

提取方法: 主成分分析法. a. 提取了 3 个成分.

根据以上综合得分的结果,将京津冀区域的 13 个城市划分为轴、辐、支节点 3 个层次轴辐式物流网络,结果见表 5. 首先根据得分的直观判断,第一层次($F>2$),北京综合得分为 7.216 645,处于相当高的水平. 这符合北京作为首都的核心地位. 在《京津冀协同发展规划纲要》中,北京要重点疏解非首都功能,"从疏解对象讲,重点是疏解一般性产业特别是高消耗产业,区域性物流基地、区域性专业市场等部分第三产业",在未来的发展中,预计北京的综合得分应该会有所下降. 结合"双城"的思想,充分发挥北京天津高端引领和辐射带动作用. 作为双城之一的天津,得分虽较北京有一定的差距,但根据发展规划,本文将天津也划分为第一层次,将北京、天津作为轴心城市.

其次,河北在京津冀的未来发展中作为全国现代商贸物流重要基地,结合其主要城市的发展以及综合得分,第二层次为综合得分大于 -0.6 小于 2($-0.6<F<2$),所包含的城市为石家庄、保定、唐山. 在商务部等 5 部门印发的《商贸物流发展"十三五"规划》中,石家庄、唐山为全国性商贸物流节点城市,保定、秦皇岛、邯郸为区域性商贸物流节点城市. 基于现有的发展规划,雄安新区要打造集约智能共享的物流体系,所以本文将保定划入第二层次中,石家庄、保定、唐山作为辐点城市.

表 4 主成分及综合得分情况

Tab. 4 Principal component and comprehensive score

编号	国家	F_1	F_2	F_3	F	排名
1	北京	9.170 184	2.843 215	-0.579 54	7.216 645	1
2	天津	4.009 981	-1.128 24	1.618 799	2.904 842	2
3	石家庄	1.108 169	-2.239 36	-0.415 39	0.465 311	3
4	唐山	-0.272 51	-2.517 19	0.357 984	-0.560 28	5
5	秦皇岛	-1.828 05	-0.304 93	-0.828 92	-1.452 23	13
6	邯郸	-1.223 54	-0.409 34	0.242 076	-0.958 16	8
7	邢台	-1.579 62	0.722 269	-0.560 23	-1.098 27	9
8	保定	-0.872 86	0.960 028	-0.256 11	-0.519 75	4
9	张家口	-2.243 35	1.470 125	1.231 752	-1.379 55	10
10	承德	-2.314 02	1.495 274	1.155 055	-1.432 65	12
11	沧州	-1.094 15	-0.444 94	0.060 996	-0.877 37	6
12	廊坊	-1.056 77	-0.484 44	-1.048 86	-0.917 64	7
13	衡水	-1.803 47	0.037 531	-0.977 59	-1.390 9	11

第三层次为综合得分大于 -1.5 小于 -0.6($-1.5<F<-0.6$),包含的城市除秦皇岛、邯郸两大区域性商贸物流节点外,还包括沧州、邢台、张家口、廊坊、衡水几个城市,这几个城市作为京津冀区域物流的节点物流城市.

1.2 物流城市的辐射范围确定

在确定京津冀地区各城市的物流等级以后,还

表 5　京津冀地区城市得分分类表

Tab. 5　Cities of Beijing-Tianjin-Hebei region score classification

级别	得分区间	城市个数	城市
轴心	$F>2$	2	北京、天津
辐点	$-0.6<F<2$	3	石家庄、保定、唐山
节点	$-1.5<F<-0.6$	8	秦皇岛、邯郸、沧州、邢台、张家口、廊坊、衡水

需要确定各城市的物流引力.

引力模型以牛顿经典力学万有引力公式为基础,是一种空间相互作用模型,应用十分广泛,主要用来预测空间相互作用能力[13]. 在区域物流中,枢纽物流城市会对节点物流城市产生引力作用,并且枢纽物流城市在发展的过程中,会不断吸引相关的产业在城市周围聚集,产生一些辐射力并对周围节点物流城市产生一定的辐射影响,本文用引力模型来反应京津冀地区城市间的物流引力. 引力模型的基本形式为:

$$M_{ij}=K\frac{Y_iY_j}{D_{ij}} \tag{2}$$

其中,K 为常数(也可称为引力系数),Y_i 和 Y_j 为内生变量,D_{ij}为空间距离.

为了研究城市间的物流引力,本文将 Y 内生变量定义为城市货运量 Q 与 GDP 的乘积,D_{ij}为城市 i 与城市 j 之间的公路运输里程,引力系数 K 通常取值为 1,因此物流引力模型可改写为:

$$I_{ij}=\frac{Q_iP_iQ_jP_j}{D_{ij}^2} \tag{3}$$

物流引力的大小与两个城市节点之间的物流竞争力成正比,与城市之间的距离成反比,本文通过查阅中国公路信息网得到各物流节点城市之间的距离,运用公式(3)进行计算,得到城市间物流引力的结果,见表 6. 根据以上分析,将北京、天津作为轴心,石家庄(其辐射范围包括邯郸、邢台、衡水)、保定(其辐射范围包括沧州、廊坊、张家口)、唐山(其辐射范围包括秦皇岛、承德)作为辐点城市. 将各个城市划分为不同的吸引等级,将城市间的物流引力分为强引力、较强引力、较弱引力、弱引力 4 个等级(表 7).

在上述轴心和辐点的城市中,轴心城市北京、天津作为京津冀地区首位的物流联系城市,其对辐点城市唐山的物流引力在强引力范围,对石家庄、保定的物流引力都在较强的范围. 数据分析的结果恰好与近几年京津冀地区协同发展的政策规定是吻合的. 由于沧州是京津冀地区重要的港口城市,北京、天津双城都对其有较强的物流引力,而天津更是因为有天津港对沧州有着强物流引力. 廊坊因位于北京、天津中间,因此,双城对廊坊也有较强物流引力.

根据以上分析,对京津冀地区的物流网络重新布局,以北京、天津作为重要的物流联系城市,将石家庄、唐山、保定作为京津冀地区重要的物流周转城市.

2　京津冀地区物流圈布局分析

根据本文的数据分析,结合《京津冀协同发展

表 6　京津冀城市物流引力

Tab. 6　Cities of Beijing-Tianjin-Hebei region logistics gravitation

I_{ij}($\times10^{10}$)	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊
天津	1 918.894											
石家庄	177.094	196.124										
唐山	543.680	1 289.039	43.470									
秦皇岛	6.484	9.332	0.835	14.483								
邯郸	18.820	22.380	57.815	6.332	0.142							
邢台	0.628	0.746	3.276	0.198	0.004	3.906						
保定	72.840	74.927	44.395	12.265	0.189	2.676	0.103					
张家口	12.392	5.259	1.103	1.698	0.036	0.165	0.005	0.094				
承德	8.082	7.093	0.723	6.048	0.171	0.118	0.004	0.066	0.042			
沧州	109.051	431.484	44.106	53.306	0.691	5.701	0.200	3.717	0.432	0.453		
廊坊	195.084	700.171	10.619	39.993	0.363	1.134	0.038	0.699	0.331	0.254	16.154	
衡水	5.771	8.061	10.061	1.753	0.031	1.543	0.064	1.182	0.032	0.026	2.825	0.407

表 7 京津冀城市物流引力分类表

Tab. 7 Cities of Beijing-Tianjin-Hebei region classification table of logistics gravitation

类型	城市
强引力 ($I>500$)	北京—天津、天津—唐山、天津—廊坊、北京—唐山、天津—沧州
较强引力 ($70<I<500$)	天津—石家庄、北京—廊坊、北京—石家庄、北京—沧州、天津—保定、北京—保定
较弱引力 ($11<I<70$)	唐山—沧州、石家庄—邯郸、石家庄—保定、石家庄—沧州、石家庄—唐山、唐山—廊坊、天津—邯郸、北京—邯郸、沧州—廊坊、唐山—秦皇岛、唐山—保定、北京—张家口
弱引力 ($I<11$)	石家庄—廊坊、石家庄—衡水、天津—秦皇岛、北京—承德、天津—衡水、天津—承德、北京—秦皇岛、唐山—邯郸、唐山—承德、北京—衡水、邯郸—沧州、天津—张家口、邯郸—邢台、保定—沧州、石家庄—邢台、沧州—衡水、邯郸—保定、唐山—衡水、唐山—张家口、邯郸—衡水、保定—衡水、邯郸—廊坊、石家庄—张家口、石家庄—秦皇岛、天津—邢台、石家庄—承德、保定—廊坊、秦皇岛—沧州、北京—邢台、承德—沧州、张家口—沧州、廊坊—衡水、秦皇岛—廊坊、张家口—廊坊、承德—廊坊、邢台—沧州、唐山—邢台、秦皇岛—保定、秦皇岛—承德、邯郸—张家口、秦皇岛—邯郸、邢台—保定、保定—张家口、保定—承德、邢台—衡水、张家口—承德、邢台—廊坊、秦皇岛—张家口、张家口—衡水、秦皇岛—衡水、承德—衡水、邢台—衡水、秦皇岛—邢台、邢台—承德

纲要摘要》《雄安地区发展规划纲要摘要》《商贸物流发展“十三五”规划》等文件的内容，将北京、天津双城作为京津冀地区首位物流联系城市，石家庄、唐山、保定作为重要的辐点城市，考虑到剩余城市与轴心、辐点城市或相互之间的物流引力都较弱，再结合地理位置及发展规划等因素，构建 3 大物流圈.

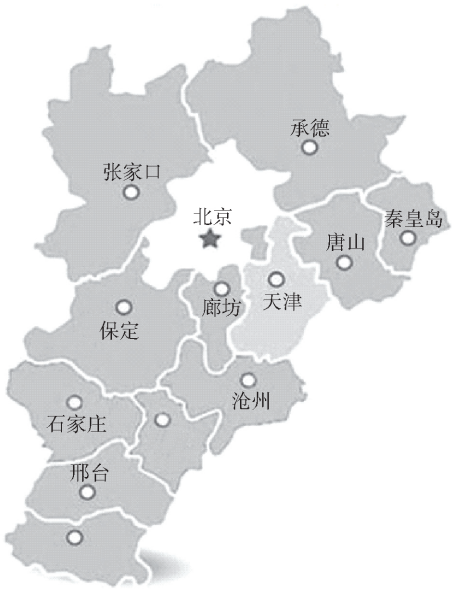

图 1 京津冀地区城市物流圈

Fig. 1 Urban logistics circle of Beijing-Tianjin-Hebei region

石家庄物流圈，包含的城市有邯郸、邢台、衡水. 因其地理位置相近，物流引力相对较强，且邢台与衡水属于物流边缘城市，在《商贸物流发展“十三五”规划》中，石家庄为全国性商贸物流城市，而邯郸为区域性商贸物流城市，石家庄与邯郸作为发展规划中重要的物流节点城市，能带动邢台与衡水的物流水平的发展. 这也是进行物流圈划分的重要因素，利用石家庄的物流综合竞争力来带动边缘城市邢台、衡水与其他城市之间的物流交流，借此来发展本地区的经济文化等方面.

保定物流圈，包含的城市有廊坊、张家口. 保定因雄安新区的规划，其政治优势是其他两个辐点城市所不具有的，且在《商贸物流发展“十三五”规划》中，保定被定位为区域性商贸物流节点城市. 与 3 个辐点城市对廊坊的物流引力相比较而言，唐山大于石家庄大于保定. 而将廊坊划分到保定物流圈的原因为，廊坊与北京市副中心距离很近，因非首都功能疏解，廊坊与保定都承担了部分疏解功能，将廊坊划分到保定有利于京津冀协同发展，且以上的分析都是基于以前的数据，预测在未来京津冀协同发展中，廊坊与保定的联系将会逐渐增加. 张家口同样也与廊坊有相似的问题，但因 2022 年冬奥会的举办，在近几年也势必会与北京有更多的联系. 将其划分到保定物流圈，主要是因为雄安新区作为发展规划的重点，其作为北京非首都功能的疏解集中承载地，也会与北京张家口有更多的联系.

唐山物流圈，包含的城市有沧州、秦皇岛、承德. 根据城市间物流引力的结果分析，沧州、秦皇岛、承德与唐山的物流引力都大于另外两个辐点城市——石家庄、保定. 秦皇岛、承德因地理位置与唐山相近，秦皇岛与沧州有港口优势. 秦皇岛、唐山、沧州都有大型港口，且都为京津冀协同发展规划的重点，将港口城市划分到同一物流圈有利于京津冀协同发展，秦皇岛和沧州也势必与唐山有较强的物流引力.

而承德因地理位置原因也不具有港口或丰富的物质资源,所以处于京津冀地区物流边缘城市,这更需要唐山通过物流沟通带动其发展.

京津冀地区轴辐式物流网络新布局主要是考虑到近几年京津冀地区协同发展,提高京津冀地区整体的物流实力,以双城(北京、天津)以及重要的辐点城市(石家庄、唐山、保定)带动其他边缘城市物流的发展,甚至是京津冀周边地区物流的发展.

3 结论

本文结合京津冀地区近年来的发展规划,应用主成分分析法,对京津冀地区 13 个主要城市进行分析.

1) 根据构建的京津冀区域物流发展评价指标体系表,按照 4 个一级指标、14 个三级指标,确定了以北京天津为轴心,石家庄、保定、唐山为辐点的京津冀地区轴辐式物流网络布局.

2) 应用引力模型分析了京津冀地区各城市之间的物流引力,确定了石家庄(包括邯郸、邢台、衡水)、保定(包括廊坊、张家口)和唐山(包括沧州、秦皇岛、承德)三大物流圈.

3) 京津冀地区城市之间物流网络的新布局,与以往的研究相比,不仅仅考虑货运量以及地理位置因素,主要从数据结合政策的角度,对京津冀地区轴辐网络的布局做了新的诠释.

参考文献:

[1] O'KELLY, MORTON E. A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities [J]. European Journal of Operational Research32,1987: 393 – 404.

[2] 李阳. 轴辐式网络理论及应用研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2006.
LI Yang. Research on hub-and-spoke network theory and its application [D]. Shanghai: Fudan University, 2006. (in Chinese)

[3] SCOTT H. Success with Hub and Spoke Distribution [OB/DL], 2006 – 02 – 16.

[4] CAMPBELL, JAMES F. Integer programming formulations of discrete hub location problems [J]. European Journal of Operational Research,1996(72): 387 – 405.

[5] GABRIELA M, BEMD W. HubLocator: an exact solution method for the multiple allocation hub location problem [J]. Computer & Operations Research,2002,29: 715 – 739.

[6] 金凤君,王成金. 轴辐式理念下的中国航空网络模式构筑 [J]. 地理研究,2005,24(5): 774 – 784.
JIN Fengjun, WANG Chengjin. Hub-and-spoke system and China aviation network organization [J]. Geographical Research, 2005,24(5): 774 – 784. (in Chinese)

[7] 谢守红, 蔡海亚, 朱迎莹. 长三角城市群物流联系与物流网络优化研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(4): 76 – 82.
XIE Shouhong, CAI Haiya, ZHU Yingying. Research on logistics link and logistics network optimization among cities of Yangtze river delta [J]. Geography and Geo-Information Science, 2015, 31(4): 76 – 82. (in Chinese)

[8] 李明芳, 薛景梅. 京津冀轴辐式区域物流网络的构建与对策 [J]. 中国流通经济, 2015(1): 106 – 111.
LI Mingfang, XUE Jingmei. Construction and suggestion of hub-and-spoke logistics network for Beijing-Tianjin-Hebei [J]. China Business and Market, 2015(1): 106 – 111. (in Chinese)

[9] 曹炳汝, 尹娣. 基于轴–辐式理论的长三角区域物流网络的构建研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(2): 105 – 110.
CAO Bingru, YIN Di. Construction of regional logistics network for the Yangtze River Delta based on hub and spoke theory [J]. Geography and Geo-Information Science, 2016, 32(2): 105 – 110. (in Chinese)

[10] 刘荷, 王健. 基于轴辐理论的区域物流网络构建及实证研究 [J]. 经济地理, 2014, 34(2): 108 – 113.
LIU He, WANG Jian. The construction of regional logistics networks and its empirical research based on Hub-and-Spoke theory [J]. Economic Geography, 2014, 34(2): 108 – 113. (in Chinese)

[11] 王鑫磊, 王圣云. 中部地区"轴–辐"物流网络构建——基于公路和铁路运输成本的分析视角 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1583 – 1590.
WANNG Xinlei, WANG Shengyun. The hub-and-spoke logistics network system in central China based on road and railway transportation cost [J]. Progress in Geography,2012, 31(12): 1583 – 1590. (in Chinese)

[12] 邓维斌, 唐兴艳, 胡大权, 等. SPSS 23 统计分析实用教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
DENG Weibin, TANG Xingyan, HU Daquan, et al. SPSS 23 practical guide to statistical analysis [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2017. (in Chinese)

[13] 鲁渤, 汪寿阳, 匡海波. 基于引力模型的区域物流需求预测研究 [J]. 管理评论, 2017, 29(2): 181 – 190.
LU Bo, WANG Shouyang, KUANG Haibo. Forecast of regional logistics demand based on the gravity model [J]. Management Review, 2017, 29(2): 181 – 190. (in Chinese)

[责任编辑: 佟启巾]